Untersuchungen über das elektrische Leitungsvermögen der überlebenden menschlichen Haut

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu

Berlin

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

von

Richard Kaufhold

aus Fritzlar (Reg.-Bez. Cassel).

Tag der Promotion: 13. Oktober 1919

Berlin und **Leipzig** 1919

Vereinigung wissenschaftlicher Verleger

Walter de Gruyter & Co.

Vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung :: Georg Reimer :: Karl J. Trübner :: Veit & Comp.

129

Sonderabdruck aus:
Archiv f. Anatomie u. Physiologie. 1919. *Phys. Abt.*

Referenten:
Prof. Dr. Gildemeister, Prof. Dr. Rubner.

Dekan:
Prof. Dr. His.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Untersuchungen über den elektrischen Leitungswiderstand des menschlichen Körpers haben seit Pouillet und Lentz[1] in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts viele Autoren beschäftigt. Die bisher erfolgten Messungen aber sind, soweit mir bekannt, nur bei Anwendung von Strömen verhältnismäßig niedriger Spannung gemacht worden, wie sie im allgemeinen in der Klinik zu diagnostisch-therapeutischen Zwecken oder im Laboratorium zu physiologisch-theoretischen Untersuchungen Verwendung finden. Die dabei beobachtete Tatsache, daß der elektrische Leitungswiderstand des menschlichen Körpers mit steigender Spannung abnimmt (R. Remak[2]), mußte bei der mehr und mehr um sich greifenden Verbreitung der Anwendung des elektrischen Stromes, der einerseits zwar die Bequemlichkeiten des täglichen Daseins erhöht, andrerseits aber auch eine Vermehrung der das menschliche Leben bedrohenden Gefahren darstellt, die Frage entstehen lassen, wie sich das Verhalten von Körperwiderstand zur Spannung der in der Technik zur Verwendung gelangenden Ströme gestaltet. Mit dieser Frage habe ich mich befaßt und will in vorliegender Arbeit über die erzielten Resultate berichten.

I. Messungen mit Gleichstrom mittlerer Spannung (110 und 220 Volt).

Messungen mit derartigen Spannungen sind am lebenden Menschen wegen der damit verbundenen Gefahren unausführbar; an frischen Leichen, die, wie bereits anderweitig beobachtet und auch aus meinen Versuchen

[1] H. Boruttau und L. Mann, *Handbuch der ges. medizin. Anwendungen der Elektrizität.* Bd. I. Leipzig, Dr. Klinkhardt, 1909.

[2] R. Remak, *Galvanotherapie der Muskel- und Nervenkrankheiten.* Berlin 1858.

hervorgeht, gegen den elektrischen Strom das gleiche Verhalten zeigen wie der lebende Körper, habe ich Widerstandsbestimmungen vorgenommen bei Anlegung von Spannungen von 110 und 220 Volt.[1] Es sind dies Stromspannungen, wie sie hauptsächlich in Hausleitungen und Fabrikräumen zu Beleuchtungszwecken und zum Betrieb von Motoren Verwendung finden und bereits zu Unfällen Veranlassung geben können. So berichtet Boruttau[2] in einer Zusammenstellung von 340 elektrischen Unfällen mit tödlichem Ausgang über 5, bei denen schneller Tod als Folge des Durchganges eines Gleichstromes von 220 Volt durch den menschlichen Körper eintrat; bei 61 weiteren Fällen, in denen Wechselstrom auf den Körper eingewirkt hatte, hatte ebenfalls schon eine Spannung von 220 oder sogar weniger Volt ausgereicht, den Tod herbeizuführen. Die Stromintensität, durch die bei diesen Unfällen der Tod eingetreten sein soll, schätzt Boruttau auf Grund von Versuchen, die von einer französischen Kommission an größeren Hunden vorgenommen worden sind, für den Wechselstrom auf 100 Milliampere, für Gleichstrom auf 400 bis 500 Milliampere und nimmt dabei an, daß dies für jede der beiden Stromarten die geringste den Tod auslösende Stromstärke ist.

Die Untersuchungen wurden mit Erlaubnis von Geh. Rat Lubarsch, dem ich hiermit, ebenso wie Herrn Professor Ceelen, für die entgegenkommende Überlassung des Leichenmaterials meinen Dank ausspreche, im pathologischen Institut der Universität vorgenommen. Bei meinen Gleichstrommessungen war die Versuchsanordnung folgende: Als Stromquelle benutzte ich die elektrische Lichtleitung, aus der ich sowohl 110 wie 220 Volt entnehmen konnte; als Elektroden dienten Zinkbleche, die, um metallische Polarisation nach Möglichkeit auszuschalten, mit in Zinksulfat getränktem Zellstoff umwickelt waren, so daß Zink und Haut nirgends in direkte Berührung traten; bei Zuleitung des Stromes durch die Hand gab ich dem Zinkblech Röhrenform, die sich der Hand gut einpaßte, so daß von der Oberfläche von 100 qcm etwa 75 in jeder Hand als Elektrode in Betracht kamen. Bei Zuleitung durch den Fuß fixierte ich eine Zinkblechplatte von 120 qcm Oberfläche auf der Fußsohle derart, daß etwa 100 qcm als tatsächliche Zuleitungsfläche dienten. In den Stromkreis war außer einem Schlüssel zum Öffnen und Schließen des Stromes nur ein Meßinstrument eingeschaltet, das nach entsprechender

[1] 100 bis 500 Volt werden in der Technik noch als mittlere Spannungen, erst 1000 Volt und mehr als Hochspannungen bezeichnet.

[2] H. Boruttau, Der Mechanismus des Todes durch elektrischen Starkstrom und die Rettungsfrage. *Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen.* Dritte Folge. 1918. Bd. LV. H. 1.

Stöpselung auch als Voltmeter zu benutzen war. Aus der Spannung von 110 bzw. 220 Volt und der in Ampere gemessenen Stromstärke war dann der Körperwiderstand ohne weiteres zu berechnen, da die übrigen Widerstände im Kreis im Verhältnis zu diesem völlig zu vernachlässigen waren. Bei meinen Experimenten bestimmte ich den Widerstand von Hand zu Hand, von einer Hand zu einem Fuß sowie von Fuß zu Fuß, ließ also, da diese Stellen bei Unglücksfällen meist die Kontaktflächen darstellen, den Strom in ähnlicher Weise durch den Körper gehen, wie dies bei Unglücksfällen geschieht.

Von den angestellten Messungen führe ich hier eine genauer, die Widerstandswerte sämtlicher nur in Tabellenform an.

Versuch Nr. I. 47jährige, weibliche Leiche, 17 Stunden nach dem Tode, bereits seziert, noch deutlich totenstarr, die Temperatur 18° C. Bei Anlegung einer Spannung von 110 Volt zeigt das Amperemeter einen Ausschlag von:

	a) Hand zu Hand:	b) Hand zu Fuß:	c) Fuß zu Fuß:
Zunächst	0·036 Amp.	0·036 Amp.	0·043 Amp.
Nach 2 Minuten . .	0·044 „	0·044 „	0·049 „

Auch nach weiteren 5 Minuten ändert sich der Ausschlag des Amperemeters nicht mehr.

Danach berechnet sich nach dem Ohmschen Gesetz der Widerstand:

	a) Hand zu Hand:	b) Hand zu Fuß:	c) Fuß zu Fuß:
Zunächst	3050 Ohm	3050 Ohm	2550 Ohm
Nach 2 Minuten . .	2500 „	2500 „	2200 „

Bei Anlegung einer Spannung von 220 Volt sind die entsprechenden Werte folgende:

	a) Hand zu Hand:	b) Hand zu Fuß:	c) Fuß zu Fuß:
Zunächst	0·118 Amp.	0·100 Amp.	0·118 Amp.
Nach 2 Minuten . .	0·145 „	0·110 „	0·128 „

Der Widerstand beträgt:

	a) Hand zu Hand:	b) Hand zu Fuß:	c) Fuß zu Fuß:
Zunächst	1860 Ohm	2200 Ohm	1860 Ohm
Nach 2 Minuten . .	1510 „	2000 „	1710 „

Die Stromstärke erreicht also hier durch Verdoppelung der angelegten Spannung nicht einfach den doppelten Wert, sondern sie steigt darüber hinaus an; dabei nimmt sie sowohl bei 110 wie bei 220 Volt noch mit der Dauer der Durchströmung zu. Das bedeutet aber, daß der Widerstand abnimmt. Er zeigt also selbst bei diesen Voltzahlen eine gewisse Abhängigkeit von der Spannung wie von der Zeitdauer der Durchströmung, Erscheinungen, die bereits früher bei niederen Spannungen regelmäßig festgestellt worden sind.

Die Ergebnisse sämtlicher Versuche sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich.

Versuch Nummer	Alter	Geschlecht	Stunden nach dem Tode	Widerstand in Ohm				Versuchsanordnung
				bei 110 Volt		bei 220 Volt		
				nach 0 Min.	nach 2 Min.	nach 0 Min.	nach 2 Min.	
I	47 J.	weiblich	17	3050	2500	1860	1510	Hand zu Hand
				3050	2500	2200	2000	Hand zu Fuß
				2500	2200	1860	1710	Fuß zu Fuß
II	42 J.	männlich	12	5500	2900	1830	1470	Hand zu Hand
				3140	2750	1770	1470	Hand zu Fuß
				4400	2620	1720	1470	Fuß zu Fuß
III	23 J.	männlich	12	1700	1700	1700	1700	Hand zu Hand
				1570	1570	1570	1570	Hand zu Fuß
				1830	1700	1300	1300	Fuß zu Fuß
IV	49 J.	männlich	10	1800	1800	1830	1570	Hand zu Hand
				1320	1320	1370	1300	Hand zu Fuß
				1300	1200	1000	1000	Fuß zu Fuß

Es finden sich also ganz übereinstimmende Verhältnisse, nur im Versuch Nr. III blieb, wie aus der Tabelle ersichtlich, der Widerstand bei Durchströmung von Hand zu Hand und von Hand zu Fuß gleich, wenn er nach Anlegung einer Spannung von 110 oder 220 Volt gemessen wurde.

In einem Versuch, den ich in der Tabelle nicht mit angeführt habe, weil ich bei ihm nur nach Anlegung von 110 Volt Hand zu Hand durchströmt habe, fand ich allerdings nur einen Widerstand von etwa 500 Ohm. Dieser auffallend niedrige Wert war aber wohl darauf zurückzuführen, daß die Messung erst 24 Stunden nach dem Tode vorgenommen wurde (sonst früher, wie in der Tabelle angegeben); die Leiche war daher nicht mehr lebensfrisch, was, um das Ergebnis in Beziehung zu dem lebenden Körper setzen zu dürfen, erforderlich ist. Denn durch Absterbevorgänge werden die Widerstandsverhältnisse tierischer Gewebe gänzlich verändert, d. h. herabgesetzt (du Bois-Reymond[1]).

Die bei diesen Messungen sonst gefundenen Widerstandswerte von 1500 bis 3000 Ohm sind zwar sehr viel niedriger als die Werte, die bei Gleichstrom niederer Spannung erzielt wurden (vgl. S. 9), sie sind aber noch etwa 3- bis 4mal so groß als der Körperwiderstand, der bei Anwendung von hochfrequenten Wechselströmen, die sich durch ihre geringe physiologische Wirkung auszeichnen, ermittelt wurde. Im hiesigen physio-

[1] E. du Bois-Reymond hat dies zuerst für das Muskelgewebe gefunden. (Zitiert bei J. Ranke, *Tetanus*. Leipzig 1865. S. 60.)

logischen Institut an Lebenden ausgeführte Widerstandsmessungen ergaben für diese Ströme Werte von 500 bis 700 Ohm bei Durchströmung von Hand zu Hand. Am Leichnam derartige Messungen auszuführen, war mir infolge der fehlenden Einrichtungen nicht möglich; ich glaube aber, bei dem sonstigen Übereinstimmen des Widerstandes bei dem lebenden und dem toten Körper, das, wie ich noch weiter ausführen werde, tatsächlich besteht, auch hier das gleiche Resultat erwarten zu dürfen.

Im Hinblick auf die S. 4 angeführten Mitteilungen von Boruttau stand eigentlich zu erwarten, daß bei meinen Messungen mit 220 Volt starkem Gleichstrom eine höhere Stromintensität erzielt werde, als ich bei meinen Experimenten gefunden habe, wenn tatsächlich bei den durch einen Gleichstrom von 220 Volt erfolgten tödlichen Unglücksfällen die den Tod verursachende Stromstärke 400 bis 500 Milliampere betragen hat. Wenn man nicht annehmen will, daß bereits ein schwächerer Strom den Tod herbeizuführen vermag, so muß man für die 5 von Boruttau zitierten Unglücksfälle mit tödlichem Ausgang besondere Verhältnisse voraussetzen, durch die der Widerstand des Körpers beträchtlich herabgesetzt wurde, so daß die Stromintensität auf etwa $^1/_2$ Ampere steigen konnte. Boruttau weist darauf hin, daß es sich um Personen handelte, die dem Austritt des Stromes durch vorzügliche Erdung nur geringen Widerstand boten. Bekanntlich ist ja das Leitungsvermögen des Körpers zum großen Teil von dem Widerstand abhängig, den der elektrische Strom beim Ein- wie Austritt in den Körper zu überwinden hat. In Betracht kommt hierbei die Größe und Zusammensetzung der Elektroden sowie die Lokalisation der Hautstellen, an denen der Strom ein- bzw. austritt. Hierauf werde ich weiter unten noch genauer einzugehen haben. Auch der Zustand der Haut selbst ist von Bedeutung: ihr Fett- und Feuchtigkeitsgehalt sowie ihre Durchtränkung mit Elektrolyten, die in praxi unter besonderen Umständen möglich sein kann. Dementsprechend standen auch, wie Boruttau weiter ausführt, die verunglückten Personen meist mit nassen Füßen und durchfeuchtetem Schuhwerk auf dem nassen Untergrund eines Bergwerkstollens, einer Grube, dem feuchten Boden der Backstube oder dem mit Salzlösung getränktem Boden einer Saline oder eines Fabrikraumes.

Allerdings herrschten auch bei meiner Versuchsanordnung günstigste Leitungsverhältnisse. Das den Widerstand stets erhöhende Vorhandensein von Kleidungsstücken und Schuhwerk fiel bei meinen Messungen von vornherein fort, die Elektroden gewährleisteten nicht nur Unpolarisierbarkeit, sie unterhielten auch durch den Kontakt von Flüssigkeit und Haut eine reichliche Durchfeuchtung der letzteren und boten selbst, bei ihrer

Zusammensetzung aus Zink und Zinksulfat, dem Strom nur minimalen Widerstand. Auch ihre Größe entsprach ungefähr der gewöhnlichen Ausdehnung der Berührungsflächen bei Unglücksfällen. Trotzdem erreichte ich zumeist noch nicht eine Stromstärke von 200 Milliampere, nur einmal im Versuch Nr. IV eine solche von 210 Milliampere, wie leicht aus den Zahlen der Tabelle (S. 6) zu berechnen ist. Die hier bei Durchströmung von Hand zu Fuß und Fuß zu Fuß erzielte höhere Stromintensität war aber auf abnorm günstige Leitungsveränderung der Haut der Füße zurückzuführen, die stark ödematös waren. Selbst bei Berücksichtigung des Temperaturkoeffizienten würde der Unterschied von 1 : 2 und mehr, der zwischen den von mir erzielten Resultaten und der von Boruttau angegebenen tödlichen Stromstärke besteht, nicht ausgeglichen werden. Bei meinen Versuchen betrug die Temperatur der Leichen etwa 16 bis 18° C, also etwa 20° weniger als die Körpertemperatur des Lebenden; das würde, da der Temperaturkoeffizient einer Kochsalzlösung 2·2 Prozent für 1° C beträgt, nur eine Differenz von 20 bis 30 Prozent erklären, während dieselbe tatsächlich 125 Prozent ausmacht. Wenn also die Angabe der tödlichen Stromintensität von 400 Milliampere zutrifft, so muß man annehmen, daß bei den durch Gleichstrom von 220 Volt Verunglückten zufällig beide Kontaktflächen, sowohl die Ein- wie Austrittsstelle, doch beträchtlich größer waren als bei meinen Versuchen, anderenfalls erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß bei besonders disponierten Personen bereits Stromstärken von beträchtlich weniger als $^1/_2$ Ampere Gleichstrom ausreichen, das den Tod herbeiführende irreparable Herzkammerflimmern auszulösen.

Nur eine Beobachtung, die ich bei meinen Messungen wahrgenommen habe, — nämlich: daß im ersten Moment nach Einschaltung des Stromes der Zeiger des Meßinstrumentes zuweilen einen größeren Ausschlag anzeigte, der sofort, nach Bruchteilen einer Sekunde, zurückging auf den Wert, nach dem ich den in der Tabelle angegebenen Anfangswiderstand berechnet habe —, läßt es doch noch als möglich erscheinen, daß durch einen Gleichstrom von 220 Volt, wenigstens für eine sehr kurze Zeitdauer, auch ohne besondere Bedingungen eine Stromstärke von fast $^1/_2$ Ampere erreicht werden kann. Man müßte dann annehmen, daß sowohl der lebende wie tote Organismus sich dieser hohen Spannung gegenüber wie ein toter poröser Körper verhält, der bei Anlegung von etwa 40 Volt und mehr sekundäre Widerstandsschwankungen aufweist, wie dies von du Bois-Reymond[1] beschrieben worden ist. Der Strom würde dann

[1] E. du Bois-Reymond, *Monatsbericht der Berliner Akademie der Wissenschaften*. 1860. S. 846.

nur für Bruchteile einer Sekunde die Stromstärke von $^1/_2$ Ampere erreichen, da sich sofort sekundäre Widerstandszunahme geltend macht. Diese kurze Zeitdauer würde aber schon genügen, um diese Stromstärke ihre tödliche Wirkung ausüben zu lassen.

II. Messungen mit Strom niederer Spannung

(1·5 bis 16·4 Volt, Gleich- und Wechselstrom).

Um die Resultate meiner bisher besprochenen, an der Leiche angestellten Untersuchungen mit Sicherheit auf das Verhalten des Widerstandes des lebenden Organismus gegen einen Gleichstrom von 110 bzw. 220 Volt übertragen zu können, habe ich die von verschiedenen Autoren bei Versuchen am Lebenden gewonnenen Ergebnisse über den Widerstand des Körpers gegen Gleichstrom niederer Spannung an der Leiche nachgeprüft, um festzustellen, inwieweit der tote und der lebende Körper in ihrem Verhalten voneinander abweichen. Bereits von anderen Autoren sind Versuche an der Leiche ausgeführt worden; weiter unten werde ich darlegen, ob und inwieweit meine Resultate mit den von anderen erzielten übereinstimmen.

Ohne auf die gesamte hierher gehörige Literatur erschöpfend einzugehen, deren meiste Veröffentlichungen in einem Artikel von Boruttau[1] Berücksichtigung gefunden haben, kann ich die bei Versuchen am Lebenden gemachten bisherigen Beobachtungen in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Der Gleichstromwiderstand nimmt mit steigender Spannung ab R. Remak[2]), an der Handfläche wie an der Fußsohle ist die Widerstandsabnahme geringer als an anderen Körperstellen Jolly[3]). Mit wieder abnehmender Spannung steigt der Widerstand nicht mehr bis zu seinem ursprünglichen Wert an; er erreicht diesen erst wieder, wenn der Strom eine Zeitlang unterbrochen wird.

2. Der Gleichstromwiderstand nimmt mit der Zeitdauer der Durchströmung ab (R. Remak[4]), an der Handfläche wie an der Fußsohle nimmt er bei schwacher Spannung in der Regel mit der Zeit zu (Jolly[5], d'Arman[6]).

[1] H. Boruttau, a. a. O. S. 1.

[2] R. Remak, a. a. O.

[3] F. Jolly, *Untersuchungen über den elektrischen Leitungswiderstand des menschlichen Körpers.* Straßburg 1884.

[4] R. Remak, a. a. O.

[5] F. Jolly, a. a. O.

[6] d'Arman, *Annales d'électrobiologie et de radiologie.* Vol. X. p. 741.

3. Der Wechselstromwiderstand ist kleiner als der Gleichstromwiderstand Kundt und Kohlrausch[1]) und macht die starken Schwankungen desselben nicht mit (Aebly[2], Gildemeister[3], Galler[4]).

Auf diese Tatsachen habe ich bei meinen Leichenversuchen hauptsächlich geachtet.

Um einzelne Hautstellen in ihrem Verhalten untersuchen zu können und das bei den zu erwartenden schwächeren Strömen notwendige empfindlichere Meßinstrument nicht zu schädigen, wurden zwei kleinere Elektroden von je 6 qcm Fläche angelegt. Dieselben bestanden aus einem amalgamierten Zinkblech, das mit einer Schicht von Zinksulfatgelatine überzogen war; das Ganze tauchte in Ringerlösung, die durch eine feine Goldschlägerhaut abgeschlossen war. Zwei derartige unpolarisierbare Elektroden wurden unter gelindem Druck fest auf die Haut aufgesetzt.

Die Versuchsanordnung war im wesentlichen die gleiche wie bei den oben angeführten Messungen; nur wurde das Amperemeter durch ein Milliamperemeter ersetzt, dessen Empfindlichkeit durch einen parallel dazu geschalteten Widerstand bekannter Größe variiert werden konnte; als Stromquelle dienten hintereinander geschaltete Leclanchéelemente, deren jedes eine Spannung von 1·45 Volt hatte. Der Körperwiderstand wurde ebenfalls nach dem Ohmschen Gesetz berechnet.

Zu 1. Zunächst untersuchte ich das Verhalten des Widerstandes bei zu- und wieder abnehmender Spannung. Von einer Reihe von Versuchen, deren Resultate völlig miteinander übereinstimmen, führe ich folgenden an.

Versuch Nr. V. 69jährige männliche Leiche, $6^1/_2$ Stunden nach dem Tode, noch starke Totenstarre. Elektroden in 10 cm Abstand auf Beugeseite des rechten Vorderarmes. 10 Sekunden Strom, dann Meßinstrument abgelesen, dann 20 Sekunden Pause. (Hierzu die Tabelle auf S. 11 oben.)

Es zeigt sich also bei zunehmender Spannung eine Abnahme des Widerstandes, der mit wieder abnehmender Spannung ansteigt, aber hinter seinem Ursprungswert beträchtlich zurückbleibt. Beide Erscheinungen stimmen vollkommen mit den beim Lebenden beobachteten überein. Auch an der Leiche war dieses Verhalten bereits, und zwar zuerst von Gärtner[5], festgestellt worden.

---

[1] Zitiert bei Jolly.

[2] J. Aebly, Zur Analyse der physikalischen Vorbedingungen des psychogalvanischen Reflexes bei exosomatischer Stromquelle. *Inaug.-Diss.* Zürich 1910.

[3] M. Gildemeister, *Centralbl. f. Phys.* 1912. Bd. XXV. S. 1093.

[4] H. Galler, Pflügers *Archiv.* 1912. Bd. CXLIX. S. 156.

[5] G. Gärtner, *Wiener medizinische Jahresbücher.* 1882. S. 519.

Ergebnisse des eben erwähnten Versuches:

n	e	W	n	e	W
1	1·45	315 000	1	1·45	63 600
2	2·90	292 000	2	2·90	54 000
3	4·35	190 000	3	4·35	49 000
4	5·80	122 000	4	5·80	44 000
5	7·25	85 000	5	7·25	37 000
6	8·70	58 000	6	8·70	31 000
7	10·15	46 000	7	10·15	19 700
8	11·60	35 500	8	11·60	19 200
9	13·05	32 000	9	13·05	19 000
10	14·50	19 100			

n = Anzahl der Elemente. e = Spannung in Volt. W = Widerstand in Ohm.
Die Pfeile zeigen die Reihenfolge der Versuche an.

Von Interesse war es, zu sehen, ob sich die Widerstandsschwankungen, die ich eben beschrieben habe, ebenso gestalten, wenn der Körper vorher mit Gleichstrom mittlerer Spannung durchströmt war. Ich bestimmte deshalb einigemal den Widerstand vor und nach der Starkstrommessung und erhielt im Versuch Nr. II der Tabelle S. 6 folgendes Resultat:

42jährige, männliche Leiche. 12 Stunden nach dem Tode, Totenstarre noch vorhanden, Elektroden wie bei den Starkstrommessungen. Ergebnis der Widerstandsbestimmung v o r der Starkstrombehandlung:

a) Hand zu Hand			b) Hand zu Fuß			c) Fuß zu Fuß		
n	e	W	n	e	W	n	e	W
2	2·90	54 000	2	2·90	109 000	2	2·90	159 000
5	5·80	54 000	4	5·80	108 000	4	5·80	152 000
6	8·70	54 000	6	8·70	105 000	6	8·70	132 000
8	11·60	53 000	8	11·60	100 000	8	11·60	113 000
10	14·50	53 000	10	14·50	60 000	10	14·50	96 000
12	17·40	46 000	12	17·40	46 000	12	17·40	74 000
10	14·50	47 000	10	14·50	44 000	10	14·50	81 000
8	11·60	48 000	8	11·60	70 000	8	11·60	84 000
6	8·70	53 000	6	8·70	78 000	6	8·70	90 000
4	5·80	54 000	4	5·80	80 000	4	5·80	106 000
2	2·90	54 000	2	2·90	85 000	2	2·90	109 000

n = Anzahl der Elemente. e = Spannung in Volt. W = Widerstand in Ohm.

Der Widerstand zeigt also dasselbe Verhalten, wie es bei dem oben angeführten Versuch besprochen worden ist.

Nachdem darauf die Messungen mit 110 und 220 Volt vorgenommen waren (vgl. Tabelle S. 6, Versuch Nr. II), wurde die Widerstandsbestimmung mit niederer Spannung wiederholt, und es fanden sich jetzt folgende Werte:

a) Hand zu Hand			b) Hand zu Fuß			c) Fuß zu Fuß		
n	*e*	*W*	*n*	*e*	*W*	*n*	*e*	*W*
2	2·90	4700	2	2·90	6000	2	2·90	7900
4	5·80	4200	4	5·80	5600	4	5·80	7200
6	8·70	3800	6	8·70	5400	6	8·70	6300
8	11·60	2900	8	11·60	4200	8	11·60	5700
10	14·50	2400	10	14·50	2900	10	14·50	4200
12	17·40	2300	12	17·40	2900	12	17·40	4200
10	14·50	2400	10	14·50	2900	10	14·50	4200
8	11·60	2900	8	11·60	3600	8	11·60	4200
6	8·70	3400	6	8·70	3600	6	8·70	5400
4	5·80	3600	4	5·80	4200	4	5·80	6300
2	2·90	4400	2	2·90	4700	2	2·90	6300

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, hat der Starkstrom den Widerstand des Körpers auch für den schwächeren Strom ganz wesentlich herabgesetzt, so daß er für diesen einen nur wenig veränderlichen Wert aufweist. Am Lebenden wäre ein ähnliches Verhalten zu erwarten gewesen, nur würde voraussichtlich sich hier diese Senkung des Leitungswiderstandes wieder allmählich ausgleichen.

Zu 2. Auch die zeitliche Widerstandsabnahme bei Durchströmung mit gleich bleibender Spannung konnte ich in meinen Versuchen bestätigen.

Versuch Nr. VI. Der Ausschlag des Meßinstrumentes stieg bei fünf Elementen, d. h. bei 7·25 Volt, als die Elektroden auf die Beugeseite des linken Vorderarmes einer 69jährigen männlichen Leiche, die $6^1/_2$ Stunden tot war, aufgelegt waren, von 5 zu 5 Sekunden von 6·5 auf 7·0, 7·,2 7·5, 7·7, 7·7, 7·8, 7·9, 8·0, 8·0, 8·0, 8·0, 8·1, 8·1, 8·2, 8·2, 8·2, 8·2, 8·2 Skalenteile, nach weiteren 30 Sekunden auf 8·4, nach weiteren 30 Sekunden auf 8·7, d. h. der Widerstand ging von 81200 Ohm auf 60900 Ohm zurück.

Zu 3. Die unter Punkt 3 (S. 10) angegebene Erscheinung, daß der Wechselstromwiderstand bedeutend geringer ist als der Gleichstromwiderstand und die starken Schwankungen desselben nicht mitmacht, habe ich ebenfalls an der Leiche nachgeprüft. Ich will hier nicht auf die Technik und genauen Versuchsresultate eingehen, da ich weiter unten noch darauf zu sprechen kommen werde; ich möchte nur bemerken, daß

ich in meinen Versuchen bei Anwendung eines niedrig gespannten Wechselstromes von 840 Perioden in der Sekunde unter Benutzung derselben Elektroden, die ich bei meinen Gleichstrommessungen mit niedriger Spannung verwandt habe, im allgemeinen den Wechselstromwiderstand an der Leiche in der Größenordnung von 1000 Ohm gefunden habe, also wesentlich geringer als die bei Gleichstrommessung erzielten Werte.

In allen oben angegebenen Tatsachen konnte ich also, soweit ich dieselben nachgeprüft habe, in bezug auf das Verhalten des lebenden und des toten Körpers gegen den elektrischen Strom niederer Spannung völlige Übereinstimmung feststellen.

III. Theorien.

Die Tatsache, daß ich die für den lebenden Organismus beobachtete Variabilität des Leitungswiderstandes auch an dem toten Körper bestätigen konnte, setzt mich in den Stand, auch zu den verschiedenen Theorien Stellung zu nehmen, die zur Erklärung dieser Erscheinungen gegeben worden sind. H. Munk[1] verglich den Organismus mit einem feuchten porösen Körper mit schlecht leitender Binnenflüssigkeit zwischen besser leitenden Außenflüssigkeiten. Er gibt an, daß ein derartiges System bei längerer Durchströmung und wiederholter Stromwendung Widerstandsschwankungen zeigt, die mit dem Verhalten des Widerstandes beim menschlichen Körper übereinstimmen, und erklärt die Veränderungen mit Kataphorese, d. h. Fortbewegung von Wasser in der Richtung des Stromes, einem Vorgang, der heute als Elektroendosmose bezeichnet wird. Dieselbe Anschauung vertrat Runge[2], der durch künstliche Zerstörung der Epidermis mittels Blasenpflaster den Hauptteil des Leitungswiderstandes des Gesamtkörpers durch die Epidermis bedingt sah. Dieser physikalischen Theorie gegenüber suchte E. Remak[3] die Widerstandsabnahme mit der Dauer der Durchströmung auf physiologische Einwirkung des galvanischen Stromes auf die glatte Muskulatur der Gefäße, namentlich der Haut, zurückzuführen; die dadurch hervorgerufene Erweiterung der Hautgefäße und die damit verbundene stärkere Durchblutung der Haut sollte die Erhöhung der Leitungsfähigkeit zur notwendigen Folge haben. Eine Vereinigung dieser beiden einander entgegenstehenden Theorien suchte Erb[4]

[1] H. Munk, *Arch. f. Anat. u. Phys.* 1873. S. 241 und S. 505.

[2] Runge, *Deutsches Arch. f. klin. Medizin.* 1870. Bd. VII. S. 356.

[3] E. Remak, *Ebenda.* 1876. Bd. XVIII. S. 264.

[4] W. Erb, Elektrotherapie. Ziemssens *Handbuch der spez. Pathologie und Therapie.* Leipzig 1882. Bd. III. 1. Hälfte. S. 52.

zu erzielen, indem er außer der physiologischen Wirkung auch physikalische Ursachen, Kataphorese und Temperaturerhöhung der durchflossenen Haut, gelten ließ. Gärtner[1] zeigte dann, daß die Verminderung des Widerstandes durch Zunahme der Spannung und bei längerer Dauer der Durchströmung an der frischen Leiche ebenso erfolgt wie beim Lebenden, ferner durch Versuche an der isolierten Epidermis wie an von der Epidermis befreiten Leichenteilen, daß die abgetrennte Haut Sitz der großen Widerstandsschwankungen ist. Mit der Beobachtung, daß der Leitwiderstand der frischen Leiche sich ähnlich verhält wie der des lebenden Körpers, war für ihn die physiologische Erklärung unhaltbar geworden; er schließt sich infolgedessen der Munkschen Kataphoresetheorie an, nachdem er die Möglichkeit, daß Polarisation mit im Spiele sei, ablehnen zu müssen glaubte, da diese den polarisierenden Strom abschwäche und immer nur eine Widerstandsvermehrung, nie eine Verminderung vorzutäuschen vermöge. Seiner Auffassung schlossen sich Stintzing und Gräber[2] nach den von ihnen an Leichen angestellten Versuchen für diese an, beim Lebenden sollten, da die Widerstandsverminderung hier in weniger regelmäßiger Abstufung erfolgte als an der Leiche, außer der kataphorischen Wirkung noch vasomotorische Kräfte mit im Spiel sein.

Die Anschauungen der verschiedenen Autoren gingen also stark auseinander, ohne daß es einem gelungen wäre, alle beobachteten Erscheinungen auf Grund der von ihm vertretenen Auffassung restlos zu erklären. Erst Martius[3] suchte sämtliche beim Durchgang des elektrischen Stromes durch den Körper festgestellten Beobachtungen auch in ihren Einzelheiten mit der Kataphoresentheorie zu erklären, indem er die von Munk an feuchten porösen Körpern eingehend studierten und vollständig dargestellten Gesetze der kataphorischen Wirkung des Stromes auf den menschlichen Organismus anwandte. Namentlich die von E. Remak zuerst beschriebene Beobachtung, daß der Widerstand des Körpers, nachdem er durch den Strom einer Richtung herabgesetzt worden ist, nach Wendung des Stromes zunächst noch weiter sinkt, dann aber wieder zunimmt, war es, die, von Martius ebenfalls festgestellt, ihn veranlaßte, die physiologische Wirkung des Stromes abzulehnen, da durch dieselbe niemals eine Widerstandserhöhung erklärt werden könnte; andererseits schienen Martius die von ihm bei wiederholten Stromwendungen erzielten Beobachtungen besonders beweisend für die von Munk angegebene

[1] G. Gärtner, a. a. O.

[2] Stintzing u. Gräber, *Deutsch. Arch. f. klin. Medizin.* 1887. Bd. XL. S. 129.

[3] F. Martius, *Arch. f. Psychiatrie u. Nervenheilkunde.* 1886. Bd. XVII. S. 751.

Kataphoresentheorie zu sein. Martius beobachtete nämlich, daß bei verschieden großen Elektroden jedesmal die Wendung auf die kleine Elektrode als Anode der Widerstand nach einer innerhalb weniger Sekunden verlaufenden Verminderung beträchtlich zunimmt, während umgekehrt durch Wendung auf die Kathode eine definitive Widerstandsverminderung erzielt wird.

Da die Versuche besonders geeignet erscheinen, die Kataphoresentheorie auf ihre Stichhaltigkeit zu prüfen, habe ich auch derartige Experimente angestellt.

IV. Messungen des Widerstandes mit Gleichstrom niederer Spannung bei wiederholten Wendungen.

Die Versuchsanordnung war die gleiche wie bei den bereits geschilderten Experimenten mit niedrig gespanntem Gleichstrom; nur die Elektroden, die wieder aus amalgamiertem Zinkblech + Zinksulfatgelatine in Ringerlösung bestanden, waren verschieden groß: die größere maß 7·5 qcm, die kleinere 0·5 qcm, ihr Verhältnis betrug also 1 : 15. Da bei verschieden großen Elektroden die kleinere, an der die größere Stromdichte herrscht, als die differente anzusehen ist, müssen alle Verhältnisse auf die kleinere Elektrode bezogen werden.

In den nachfolgenden Protokollen und Tabellen bedeutet daher „Strom einsteigend", daß die kleine Elektrode, mit dem Pluspol verbunden, als Anode diente, der Strom aus ihr in den Körper eintrat, „Strom aussteigend", umgekehrt, daß die kleine Elektrode, mit dem Minuspol verbunden, als Kathode diente, der Strom in sie aus dem Körper austrat.

Von den in diesem Sinne angestellten Versuchen führe ich drei auf, an denen ich das beobachtete Verhalten ausreichend darlegen kann: erstens einen, bei dem der Strom in der ersten Durchströmungsperiode in aussteigender Richtung, zwei, bei denen er vor der ersten Wendung in einsteigender Richtung durch den Körper ging.

Versuch Nr. VII. 47jährige männliche Leiche, $10^1/_2$ Stunden nach dem Tode, bereits seziert, noch ausgesprochene Totenstarre. Elektroden auf Beugeseite des rechten Vorderarmes in 10 cm Abstand. Große Elektrode proximal; kleine Elektrode distal. Zahl der Elemente 4 = 5·60 Volt. Alle 15 Sekunden Ablesung. Erläuterung siehe am Ende des Protokolls.

a	4·5	5·5	6·5	7·0	7·2
Nach Wendung:					
e	6·0	4·2	3·5	3·0	3·0
Nach Wendung:					
a	4·0	5·0	6·0	6·5	7·0

Nach Wendung:					
e	6·0	4·0	3·4	3·0	2·8
Nach Wendung:					
a	4·0	5·5	6·0	6·8	7·0
Nach Wendung:					
e	5·5	4·0	3·5	3·0	3·0

a = aussteigender Strom. *e* = einsteigender Strom. — Die Zahlen bedeuten die Anzahl der Skalenteile des Meßinstrumentes, geben also die Stromintensität an.

Bei aussteigendem Strom nimmt also die Stromstärke zu, d. h. der Widerstand ab, bei einsteigendem Strom nimmt erstere ab und letzterer zu.

Bei einem sofort sich daran anschließenden Versuch an derselben Leiche, wo nur die kleine Elektrode um 5 cm weiter ulnarwärts gerückt war, damit eine noch nicht durch die unter derselben herrschenden Stromdichte veränderte Hautpartie als Zuleitungsstelle der differenten Elektrode diente, begann ich mit einsteigendem Strom.

Es zeigten sich Schwankungen derselben Art.

Versuch Nr. VIII. Leiche wie bei Versuch Nr. VII.					
e	7·0	6·5	6·2	6·0	6·0
Nach Wendung:					
a	7·5	10·0	11·0	11·8	12·0
Nach Wendung:					
e	10·5	8·0	7·5	7·0	6·8
Nach Wendung:					
a	8·5	10·0	11·5	12·2	12·7
Nach Wendung:					
e	9·5	8·5	8·0	7·5	7·0
Nach Wendung:					
a	9·0	11·0	12·0	12·5	13·0

Bezeichnungen wie vorstehend.

Auch hier einsteigend Zu-, aussteigend Abnahme des Widerstandes; die Widerstandsänderung wird also nicht durch die erste Stromrichtung bedingt.

Bei anderen Wendeversuchen beobachtete ich analoges Verhalten des Widerstandes; nur in der ersten Durchströmungsperiode war zuweilen ein abweichendes Verhalten zu erkennen, insofern der Widerstand einsteigend zunächst abnahm, um erst, wenn er nach der zweiten Wendung wieder in der Anfangsrichtung floß, zuzunehmen.

Eine derartige Messung führe ich hier an.

Versuch Nr. IX. Leiche wie bei beiden vorhergehenden Versuchen. Elektroden auf Beugeseite des linken Oberarmes in 12 cm gegenseitigem Abstand. Kleine Elektrode distal. Zahl der Elemente 6, also 8·7 Volt.

e	8·1	8·1	8·5	8·8	9·0
Nach Wendung:					
a	10·0	10·8	11·5	12·5	13·5
Nach Wendung:					
e	12·5	12·0	11·5	11·0	11·0
Nach Wendung:					
a	12·3	12·8	13·0	13·0	13·5
Nach Wendung:					
e	13·2	12·5	12·0	12·0	11·5
Nach Wendung:					
a	12·2	13·0	13·1	13·5	14·0

Bezeichnungen wie vorstehend.

Abgesehen von dem Anfangsstrom, auch hier Widerstand in derselben Weise verändert wie bei den beiden anderen Wendeversuchen.

Dieses Verhalten war bei sämtlichen derartigen Versuchen als Regel zu beobachten: einsteigend Zu-, aussteigend Abnahme des Widerstandes, nur zuweilen bei einsteigendem Anfangsstrom zunächst auch Abnahme des Widerstandes. Das Ergebnis meiner Wendeversuche stimmt also mit den von Martius erzielten Resultaten überein, da seine Ausdrucksweise: Wendung auf die Anode, bei der er Widerstandszunahme beobachtete, nichts anderes besagt, als einsteigender Strom, während seine Wendung auf die Kathode, bei welcher Widerstandsabnahme eintrat, dem aussteigenden Strom entspricht. Gleichartige Widerstandsschwankungen bei ein- und aussteigendem Strom hat auch Belouss[1] in analogen Wendeversuchen am Lebenden gesehen.

V. Kritik der elektroendosmotischen Theorie.

Setzt man nun alle beim Stromdurchgang durch den Körper beobachteten Erscheinungen, wie sie in den Kapiteln I, II und IV zusammengefaßt sind, in Beziehung zur Munkschen Kataphoresentheorie, so fällt zunächst auf, daß durch die Stromwirkung im allgemeinen eine Widerstandsverminderung hervorgerufen wird — nur bei Wendeversuchen, und zwar bei Wendung auf einsteigenden Strom nach vorheriger Durchströmung mit aussteigendem, nimmt der Widerstand zu —. Wir haben also gesehen, daß der Widerstand im Laufe der Durchströmung zu sinken pflegt, während bei Vergleich des Körpers mit einem feuchten porösen Gebilde mit schlecht leitender Binnenflüssigkeit zwischen besser leitenden Außenflüssigkeiten, welchem Modell Munk den Organismus gleichsetzt,

[1] A. Belouss, Pflügers *Archiv*. 1915. Bd. CLXII. S. 507.

auf Grund der Elektroendosmose anfänglich eine Widerstandsvermehrung zu erwarten wäre; denn durch den Strom müßte die schlechter leitende Binnenflüssigkeit schneller aus der Epidermis fortgeführt werden, als besser leitende Außenflüssigkeit aus der Elektrode eintritt, da schlechter leitende Flüssigkeit sich nach Munk schneller in der Stromrichtung fortbewegt als besser leitende. Demnach müßte sich an gewissen Stellen durch Feuchtigkeitsverminderung eine relativ trockene Schicht bilden, die dem Strom erhöhten Widerstand entgegensetzt, bis erst allmählich durch Eindringen der besser leitenden Außenflüssigkeit der Widerstand herabgesetzt wird. Munk und die Autoren nach ihm achten aber, sobald sie auf die Verhältnisse am menschlichen Körper eingehen, bei der Kataphorese nicht auf das Zurückweichen der Binnenflüssigkeit, sondern nur auf das nachfolgende Eindringen der Außenflüssigkeit unter der Anode. Durch letzteren Vorgang wird der Widerstand naturgemäß herabgesetzt. Dieser Widerspruch wird zwar von vornherein dadurch wieder behoben, daß die Hornschicht als ursprünglich trocken und daher so gut wie gar nicht leitend angenommen wird, so daß aus ihr überhaupt kein Zurückweichen von Binnenflüssigkeit stattfinden und Widerstandserhöhung erfolgen kann. Damit trifft aber der Vergleich der Epidermis mit einem feuchten porösen Gebilde nicht mehr zu, welcher den Ausgangspunkt der gesamten Überlegungen bildete.

Zur Erklärung der nach Stromwendung bei gleich großen Elektroden beobachteten Erscheinungen zieht Munk die Flüssigkeitsverschiebungen unter beiden Elektroden heran und erläutert die das Verhalten der Stromintensität darstellenden Gesamtkurven gewissermaßen aus Superposition der Einzelkurven, die den Verlauf der Stromintensität an der Anode bzw. Kathode darstellen.

Bedarf es also, um das tatsächlich beobachtete Verhalten des Widerstandes mit dem aus der theoretischen Anschauung sich ergebenden in Einklang zu bringen, bereits einer gewissen Modifikation des ursprünglichen Munkschen Modells, so stößt die Erklärung der bei verschieden großen Elektroden nach Wendung auftretenden Widerstandsschwankungen auf Grund der Kataphoresentheorie auf besondere Schwierigkeiten. Martius überwindet dieselben zwar durch die Annahme, daß die Widerstandsveränderung unter der kleinen Elektrode gegen die unter der großen in bezug auf das Verhalten des Gesamtwiderstandes nur wenig von Einfluß sei: es ist aber nicht ersichtlich, weshalb der physikalisch gut fundierte Satz, daß die kleine Elektrode infolge der unter ihr herrschenden größeren Stromdichte stets als die maßgebende anzusehen ist, hier nicht gelten soll.

Sind also, um durch die elektroendosmotische Theorie den Wechsel zwischen Zu- und Abnahme des Widerstandes bei Stromwendungen erklären zu können, von vornherein noch verschiedene Hilfsannahmen erforderlich, die durchaus nicht unanfechtbar sind, so weiß man jetzt, daß Kenntnis der physikalisch-chemischen Zusammensetzung des Körpers Vorbedingung ist, ehe man überhaupt Spekulationen über die Möglichkeit kataphorischer Veränderungen in diesem beginnen kann. Denn die elektroendosmotischen Wirkungen im Körper sind zum großen Teil durch seinen Gehalt an Elektrolyten, deren Zusammensetzung und die Wertigkeit der Ionen bedingt. So haben Bethe und Toropoff[1] gezeigt, daß die Wasserbewegung unter bestimmten Umständen auch entgegen der Stromrichtung erfolgen kann.

Angezeigt erschien daher eine experimentelle Prüfung der Kataphoresentheorie. Falls diese zutreffen sollte, müßte die elektroendosmotische Wirkung auch auf das Verhalten des Wechselstromwiderstandes von Einfluß sein; da dieser einen bedeutend geringeren Wert aufweist, wie für den Lebenden bereits längst feststeht und ich bei meinen S. 12 angegebenen Wechselstrommessungen für die Leiche ebenfalls gefunden habe, müßte er sich bei gleichzeitiger Durchströmung mit Gleichstrom wenigstens in demselben Verhältnis und Sinne ändern wie dieser. Aebly[2] hat am Lebenden beobachtet, daß schwacher Gleichstrom keine Änderung des Wechselstromwiderstandes hervorruft; in demselben Sinne sprechen Versuche von Belouss[3], Galler[4] und Gildemeister[5], die das Verhalten des Widerstandes bei gleichzeitigem Wechsel- und Gleichstromdurchgang am tierischen wie lebenden menschlichen Körper untersucht haben. Auch sie haben am Lebenden keine oder nur unwesentliche Schwankungen gesehen. Da also die aus der elektroendosmotischen Theorie zu ziehende Folgerung sich experimentell nicht bestätigen läßt, ist diese für den Lebenden als widerlegt zu betrachten.

An der Leiche habe ich noch einmal das Verhalten des Wechsel- und Gleichstromwiderstandes bei gleichzeitiger Durchströmung mit beiden Stromarten nachgeprüft und beobachtet, ob und in welcher Weise ersterer durch die Änderung des letzteren beeinflußt wurde, welche Änderung sowohl durch Zu- und Abnahme der Spannung wie durch wiederholte Wendung der Stromrichtung erzielt wurde.

[1] A. Bethe und Th. Toropoff, *Zeitschrift f. physik. Chemie.* 1914. Bd. LXXXVIII. S. 686; 1915. Bd. LXXXIX. S. 597.

[2] J. Aebly, a. a. O.

[3] A. Belouss, a. a. O.

[4] H. Galler, a. a. O.

[5] M. Gildemeister, Pflügers *Archiv.* 1912. Bd. CXLIX. S. 389; *Centralblatt f. Phys.* 1912. Bd. XXV. S. 1093.

VI. Messungen des Wechselstromwiderstandes bei gleichzeitiger Durchströmung mit Gleichstrom.

Bei der Messung des Wechselstromwiderstandes nach der Kohlrauschschen Methode stößt man auf die Schwierigkeit, daß die Einstellung auf das Minimum des Tones sehr ungenau ist. Das Telephon schweigt nicht, und der Bereich schwächsten Tönens ist sehr breit und verwaschen. Dieses schlechte Minimum wird durch zwei Faktoren bedingt. Es kann erstlich der zur Messung verwandte Wechselstrom nicht in der Form einer reinen Sinuskurve verlaufen, wie dies bei den durch ein Induktorium erzeugten Wechselströmen infolge der Verzögerung des Schließungsstromes durch Hysterese und des Öffnungsstromes durch Funkenbildung der Fall ist. Derartige Wechselströme enthalten eine ganze Reihe von Neben- und Obertönen, von denen die ersteren wieder jeder für sich eine besondere Schwingungsfrequenz aufweisen. Da, wie Gildemeister[1] gezeigt hat, der Widerstand des Körpers für Wechselstrom mit der Frequenz des benutzten Stromes sich in gewissem Grade ändert, so ist die Benutzung des Telephones als Nullinstrument naturgemäß so lange erschwert, als es nicht möglich ist, einen reinen Sinusstrom von konstanter Frequenz zu verwenden, da immer noch, nach Einstellung des Tonminimums für eine Frequenz, die Töne mit anderer Schwingungszahl zu hören sind. Dieser Fehler ist durch Anwendung eines Mikrophonsummers zu beheben, der einen hinsichtlich Intensität und Frequenz zur Gewinnung eines scharfen Minimums hinreichend konstanten Wechselstrom liefert.

Andererseits ist selbst bei Anwendung von reinen Sinusströmen ein vollkommenes Schweigen des Telephones nicht zu erzielen. Es beruht dies nach Gildemeister darauf, daß der Wechselstrom im Körper eine Phasenverschiebung im Sinne der Voreilung erleidet. Gildemeister hat weiter gezeigt, daß diese Phasenverschiebung, die sowohl beim tierischen wie menschlichen Organismus, beim Warm- wie Kaltblüter zu beobachten ist, auf Polarisationskapazität des Körpers zurückgeführt werden muß und durch Hinzufügung einer Selbstinduktion passender Größe ausgeglichen werden kann, da durch letztere die Phase wiederum eine Verschiebung, und zwar im Sinne des Zurückbleibens, erfährt. Durch Einschaltung einer variablen Spule gelingt es also, unter der Voraussetzung hinreichend reiner Sinusströme das Tonminimum scharf und absolut zu gestalten.

Dementsprechend benutzte ich zu meinen Messungen einem Mikrophonsummer entnommene Wechselströme von der Frequenz 840 und kompen-

[1] M. Gildemeister, *Zentralbl. f. Phys.* 1914. Bd. XXVIII. S. 775.

sierte die Phasenverschiebung durch Einschaltung einer Spule, deren Selbstinduktion durch Hineinschieben oder Herausziehen eines Eisenkernes verändert werden konnte. Der Strom ging von der einen Seite des Meßdrahtes der Wheatstoneschen Brücke durch das für die gleichzeitige Gleichstrommessung erforderliche Milliamperemeter, den Körper, die variable Spule und einen Rheostaten von 1000 Ohm zurück zu dem anderen Ende des Meßdrahtes. Bei gleichzeitigem Durchgang von Gleichstrom war zwischen Spule und Körper eine wechselnde Anzahl von Leclanchéelementen eingeschaltet, deren Strom durch eine vorgeschaltete Pohlsche Wippe in seiner Richtung umgekehrt werden konnte. Das Telephon befand sich in üblicher Weise in einer Nebenleitung, die zwischen dem Schieber des Meßdrahtes und dem Verbindungsstück von Rheostat und Spule gelegt war.

Der durch Einstellung auf das Tonminimum ermittelte Wechselstromwiderstand war dann auf den Widerstand des Körpers + Widerstand des Milliamperemeters + Widerstand der variablen Spule zu beziehen; da letztere beide bekannt sind, war der Körperwiderstand durch Subtraktion derselben zu finden. Der Widerstand der bei gleichzeitigem Gleichstromdurchgang eingeschalteten Elemente war praktisch zu vernachlässigen; ebenso beeinflußte der gleichzeitige Durchgang von Gleichstrom das Telephon in seiner Empfindlichkeit nur wenig.

Der Gleichstromwiderstand ergab sich aus den Angaben des Milliamperemeters. Daß letzteres gleichzeitig noch von Wechselstrom durchflossen wurde, war bedeutungslos. Der Gleichstrom durchlief außer dem Körper und dem Meßinstrument noch die variable Spule, etwa die halbe Länge des Meßdrahtes der Wheatstoneschen Brücke sowie das Telephon. In Nebenschluß zu der Telephonleitung befand sich für den Gleichstrom der Wechselstromerzeuger sowie der Rheostat von 1000 Ohm. Da aber die Widerstände dieser beiden Nebenleitungen bedeutend größer waren als der Widerstand des Telephons, so konnten diese viel schlechter leitenden Nebenschließungen außer acht gelassen werden. Praktisch brauchten daher, wie sich aus den Kirchhoffschen Regeln über Stromverzweigung ergibt, nur die Widerstände des Telephons, des halben Meßdrahtes, des Meßinstrumentes sowie der variablen Spule von dem aus den jeweiligen Angaben des Milliamperemeters und der Spannung berechneten Widerstandes abgezogen zu werden, um den Körperwiderstand zu finden.

Bei allen diesen Messungen benutzte ich zwei Elektroden, die verschieden groß waren: eine kleinere, die wie bei den Gleichstrommessungen aus amalgamiertem Zink + Zinksulfatgelatine in Ringerlösung zusammen-

gesetzt war und einen Querschnitt von 6 qcm aufwies, eine größere, die wie bei den Starkstrommessungen aus Zinkblech, das mit in Zinksulfat getränktem Zellstoff unterlegt war, bestand und eine Berührungsfläche von 90 qcm aufwies; das Verhältnis der beiden Elektroden betrug also 1:15.

Bei dieser Methode bestimmte ich:

1. Den Gleichstromwiderstand.

2. Den Wechselstromwiderstand, bei dem ich beobachtete, ob oder in welcher Weise er die Änderungen des Gleichstromwiderstandes mitmachte. Wenn die letzteren sowohl bei zu- und wieder abnehmender Spannung wie bei wiederholten Stromwendungen auf eine tatsächliche Änderung des Ohmwiderstandes des Körpers zurückzuführen waren, so mußte auch der Wechselstromwiderstand gleichsinnige Schwankungen durchmachen.

3. Die Polarisationskapazität des Körpers mittels der Veränderung der Spule, mit deren Hilfe ich die durch den Körper hervorgerufene Phasenverschiebung des Wechselstromes kompensierte, so daß ein scharfes Tonminimum erreicht wurde.

Von den Messungen, die bei zu- und wieder abnehmender Spannung des Gleichstromes vorgenommen wurden, führe ich zwei an: eine, bei der der Gleichstrom in aussteigender, eine zweite, bei der er in einsteigender Richtung durch den Körper ging.

Versuch Nr. X. 20jährige, weibliche Leiche, 12 Stunden nach dem Tode, bereits seziert, mit noch ausgesprochener Totenstarre. Elektroden auf Beugeseite des rechten Vorderarmes, große proximal, kleine distal. Letztere als Kathode, Strom also aussteigend.

n	e	W	I	D
0	0		980	2 Spulen + Kern
1	1·45	76 300	1000	↗
2	2·90	54 400	1100	↗
3	4·35	51 900	1150	↗
4	5·80	38 500	1170	↗
5	7·25	35 300	1180	=
6	8·70	31 800	1180	=
7	10·15	21 200	1200	↗
8	11·60	14 100	1240	=
9	13·05	13 600	1280	=
10	14·50	12 700	1320	↗
8	11·60	13 000	1300	↘
6	8·70	15 000	1260	↘
4	5·80	18 800	1220	↘
2	2·90	19 200	1110	↘
0	0		990	↘

Bezeichnungen:

n = Zahl der Elemente. e = Spannung in Volt. W = Gleichstromwiderstand in Ohm. I = Wechselstromwiderstand in Ohm. D = Veränderung der Selbstinduktion der Spule. ↗ bedeutet Zu-, ↘ bedeutet Abnahme derselben. = bedeutet Gleichbleiben derselben.

Versuch Nr. XI. 49jährige, männliche Leiche, 10 Stunden nach dem Tode, noch nicht seziert, mit deutlicher Totenstarre. Elektroden auf Beugeseite des rechten Vorderarmes, kleine Elektrode als Anode, Strom also einsteigend. Bezeichnungen wie in vorhergehendem Versuch.

n	e	W	I	D
0	0		680	1 Spule + Kern
1	1·45	190 000	690	↗
2	2·90	190 000	700	=
3	4·35	114 000	720	↗
4	5·80	58 000	730	=
5	7·25	35 000	750	=
6	8·70	35 000	780	↗
7	10·15	21 000	820	↗
8	11·60	15 000	860	↗
9	13·05	12 000	880	=
10	14·50	12 000	900	↗
8	11·60	14 000	890	=
6	8·70	21 000	870	↘
4	5·80	23 000	820	↘
2	2·90	44 000	790	↘
0	0		710	↘

In beiden Versuchen findet sich also für den Gleichstrom das übliche Verhalten: Abnahme des Widerstandes bei steigender Spannung und geringere Zunahme desselben bei Wiederabsinken der letzteren. Der Wechselstromwiderstand ist ziemlich klein. Nach Einschaltung des Gleichstromes zeigt er geringfügige Schwankungen, die aber in entgegengesetztem Sinne wie die Veränderungen des Gleichstromwiderstandes verlaufen. Mit Zunahme der Spannung wird der Widerstand für Wechselstrom etwas größer, mit Wiederabnahme der Spannung wird er kleiner und geht nach Ausschaltung des Gleichstromes wieder auf seinen Anfangswert zurück. Die Schwankungen des Wechselstromwiderstandes sind aber, selbst bei Berücksichtigung des bedeutend geringeren Ohmwertes, im Verhältnis zu den Veränderungen des Gleichstromwiderstandes äußerst gering. In demselben Sinne, wie die Schwankungen des Wechselstromwiderstandes verlaufen, ist die kompensierende Spule zu variieren; das bedeutet aber, daß bei Zunahme des Wechselstromwiderstandes die Polarisationskapazität des Körpers kleiner wird und umgekehrt.[1]

Bei sämtlichen weiteren Versuchen dieser Art bekam ich ganz analoge Resultate. Die Veränderungen des Wechselstromwiderstandes entsprachen

[1] Bekanntlich hat ein polarisierbares System eine kleine Polarisationskapazität, wenn es stark polarisierbar ist, und umgekehrt.

also bei diesen Bergversuchen — so von mir bezeichnet nach dem Verlauf der Spannung des Gleichstromes — in keiner Weise den auf Grund der elektroendosmotischen Theorie zu erwartenden Verhältnissen. Dabei war die Richtung, in der der Strom durch den Körper floß, ob ein- oder aussteigend, ohne Bedeutung.

Auch die Ergebnisse der Wendeversuche bei gleichzeitiger Wechselstrommessung standen nicht in Übereinstimmung mit den aus der Kataphoresentheorie zu ziehenden Folgerungen, sondern entsprachen den Beobachtungen, die bei den Bergversuchen gemacht wurden. Hier brauche ich ebenfalls nur zwei Messungen anzuführen, eine, bei der der Gleichstrom vor der ersten Wendung in aussteigender Richtung, eine zweite, bei der er zunächst in einsteigender Richtung durch den Körper ging.

Versuch Nr. XII. 23jährige, männliche Leiche, 12 Stunden nach dem Tode, bereits seziert, Totenstarre noch vorhanden. Elektroden auf Beugeseite des rechten Vorderarmes; kleine Elektrode distal als Kathode für den Anfangsstrom. Zahl der Elemente 4 = 5·8 Volt. Alle 60 Sekunden Messung, nach 3 Minuten Stromwendung.

a	9	13	13	*Sk*
	1010	1020	1020	*I*
	↗	=	=	*D*
		nach Wendung:		
e	12	8	7	*Sk*
	990	970	970	*I*
	↘	↘	=	*D*
		nach Wendung:		
a	7	10	12	*Sk*
	970	1000	1020	*I*
	=	↗	↗	*D*
		nach Wendung:		
e	12	8	6·5	*Sk*
	1020	990	990	*I*
	=	↘	=	*D*
		nach Wendung:		
a	6·5	10	11	*Sk*
	990	1000	1000	*I*
	=	↗	=	*D*

Bezeichnungen: *Sk* = Anzahl der Skalenteile des Meßinstrumentes.
I = Wechselstromwiderstand in Ohm.
D = Veränderung der variablen Spule.

Versuch Nr. XIII. 20jährige, weibliche Leiche, 12 Stunden nach dem Tode, bereits seziert, Totenstarre vorhanden. Elektroden auf Beugeseite des rechten Vorderarmes, kleine Elektrode distal als Anode für die erste Stromperiode. Zahl der Elemente 6 = 8·7 Volt. Alle 60 Sekunden Messung, nach 3 Minuten Stromwendung. Bezeichnungen wie vorstehend.

e	10	10	9·8	*Sk*
	1240	1240	1230	*I*
	=	=	↘	*D*
		nach Wendung:		
a	10	10·6	11	*Sk*
	1240	1270	1300	*I*
	↗	↗	↗	*D*
		nach Wendung:		
e	11	10·5	10	*Sk*
	1290	1260	1240	*I*
	=	↘	↘	*D*
		nach Wendung:		
a	10·2	10·8	11·5	*Sk*
	1250	1280	1320	*I*
	↗	↗	↗	*D*
		nach Wendung:		
e	11·3	10·7	10·2	*Sk*
	1310	1270	1250	*I*
	=	↘	↘	*D*

Bei beiden Versuchen, mit deren Resultaten die Ergebnisse der allermeisten in gleicher Weise erfolgten Experimente übereinstimmen, zeigt der Gleichstromwiderstand das Verhalten, das nach den S. 15 ff. angegebenen Wendeversuchen zu erwarten stand: nach der Wendung einsteigend Abnahme der Stromstärke, d. h. Widerstandsvermehrung, aussteigend Zunahme der Stromstärke, d. h. Widerstandsverminderung. Der Wechselstromwiderstand zeigt wiederum wie bei den Versuchen mit Änderung der Spannung nur geringfügige Schwankungen, die in umgekehrter Weise wie die Veränderungen des Gleichstromwiderstandes verlaufen: bei Verminderung des letzteren Zunahme des ersteren und umgekehrt. Auch die kompensierende Spule war wiederum in derselben Weise, wie oben besprochen, zu variieren: bei aussteigendem Strom mußte die Selbstinduktion vermehrt, bei einsteigendem Strom vermindert werden, d. h. aussteigender Strom verkleinerte die Polarisationskapazität des Körpers, einsteigender vergrößerte sie.[1]

[1] Nur bei einem Versuche, bei dem der Gleichstrom in der ersten Durchströmungsperiode in einsteigender Richtung durch den Körper ging, beobachtete ich gleichsinnig verlaufende Schwankungen des Gleich- und des Wechselstromwiderstandes, wenn auch die Änderungen des letzteren wie stets nur gering waren. Die kompensierende Spule war dabei entsprechend dem Verlauf des Wechselstromwiderstandes zu verändern: bei Zunahme des letzteren war Vergrößerung, bei Abnahme Verkleinerung erforderlich, d. h. hier wurden Wechselstromwiderstand und Selbstinduktion bei einsteigendem Strom größer, bei aussteigendem kleiner. Oder einsteigender Strom verkleinerte die Polarisationskapazität des Körpers, aussteigender vergrößerte sie.

Dies von mir nur in diesem einen Falle beobachtete Verhalten der Polarisations-

Die Ergebnisse der Untersuchungen über das Verhalten des Wechselstromwiderstandes an der Leiche bei gleichzeitiger Durchströmung mit Gleichstrom bestätigen also auch für den toten Organismus den auf S. 10 für den lebenden Körper angegebenen Satz, daß der Wechselstromwiderstand die starken Schwankungen des Gleichstromwiderstandes nicht mitmacht; sie lassen ferner, da sie in direktem Gegensatze zu den aus der elektroendosmotischen Theorie zu ziehenden Folgerungen stehen, diese auch für die Leiche als widerlegt erscheinen.

VII. Die Polarisationstheorie.

Mit der Widerlegung der Kataphoresentheorie drängt sich von selbst die Frage auf, welche Anschauung denn jetzt zur Erklärung des beschriebenen Verhaltens des Leitungswiderstandes des Körpers herangezogen werden kann. Gärtner hatte bereits einmal den Gedanken an Polarisationsvorgänge im Körper gestreift, aber als zur Erklärung ungeeignet abgelehnt. Daß aber doch beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper entstehende elektromotorische Gegenkräfte den Leitungswiderstand weitestgehend beeinflussen, nahmen Zangger und seine Schüler Müller und Aebly[1] an. Unabhängig von diesen gelangten Gildemeister[2] und Galler[3] auf Grund der bei experimentellen Messungen am Froschkörper erzielten Resultate zu der Anschauung, daß bei diesem der hohe Gleichstromwiderstand durch elektromotorische Gegenkräfte der Gleichstrompolarisation vorgetäuscht wird. Von Belouss[4] und Gildemeister[5] sind dann eingehende Untersuchungen über das Entstehen von Polarisationskräften in der Haut des Kalt- wie Warmblüters vorgenommen worden, so daß es jetzt möglich ist, sämtliche beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper beobachteten Erscheinungen durch die Polarisationstheorie zu erklären. Ich schließe mich hier dem Gedankengang der letzterwähnten Arbeit von Gildemeister an.

Daß im tierischen Organismus elektromotorische Gegenkräfte entstehen können, wird seit langem angenommen; nur die Vorstellung über

kapazität stimmt mit dem von A. Belouss, a. a. O., in seinen Versuchen regelmäßig festgestellten überein, während die übrigen meiner Beobachtungen ein umgekehrtes Verhalten ergeben haben. Worauf die Verschiedenheit der Ergebnisse zurückzuführen ist, vermag ich nicht anzugeben.

[1] J. Aebly, a. a. O.

[2] M. Gildemeister, *Zentralbl. f. Phys.* 1912. Bd. XXV. S. 1093.

[3] H. Galler, a. a. O.

[4] A. Belouss, a. a. O.

[5] M. Gildemeister, Pflügers *Archiv.* 1919. Bd. CLXXVI. S. 84; *Elektrotechnische Zeitschrift.* 1919. Heft 38.

das Zustandekommen dieser Gegenkräfte hat sich allmählich geändert. Nach den heutigen Anschauungen muß man annehmen, daß die Polarisierbarkeit der Haut auf die Zellmembranen zurückgeführt werden muß. Diese besitzen Semipermeabilität[1], d. h. sie lassen Wasser, nicht aber die den Körper durchtränkenden Elektrolyten durchtreten. Bei Anlegung eines Potentialgefälles ändert sich dicht an der Membran die Konzentration der benachbarten Elektrolyten; dadurch entsteht eine Konzentrationskette, deren Spannung der äußeren entgegengesetzt gerichtet ist. Auf diese Weise wird zunächst der durch den Körper fließende Gleichstrom niederer Spannung abgeschwächt und ein scheinbarer hoher Widerstand des Körpers vorgetäuscht.

Bleibt aber die Konzentrationsveränderung an den Membranen längere Zeit hindurch bestehen, oder wird sie durch Zunahme der angelegten Spannung noch vergrößert, so werden die Zellmembranen durch den Kontakt mit einer den physiologischen Verhältnissen nicht entsprechenden Lösung geschädigt und verlieren ihre Semipermeabilität; damit vermögen sich die bestehenden Konzentrationsveränderungen durch die Membran hindurch zum Teil auszugleichen, und als Folge davon sinkt die elektromotorische Gegenkraft ab. So läßt sich die Widerstandsabnahme bei wachsender Spannung und längerer Durchströmungsdauer erklären.

Nach Ausschaltung des Stromes bzw. Wiederabsinken der Spannung gewinnen die Zellmembranen nicht sofort ihre alte Beschaffenheit wieder, sondern erst nach einer gewissen Zeit erlangen sie ihre Semipermeablität zurück. Es entspräche dies der Hysterese, die, da zu ihrem Ausgleich eine Art von Heilungsvorgang erforderlich ist, an der Leiche nur noch in beschränktem Maße zurückgeht.

Das von der übrigen Haut etwas abweichende Verhalten der Handfläche und Fußsohle dürfte einerseits auf geringere Durchfeuchtung dieser Stellen infolge ihres festeren Baues, andererseits auf besondere Beschaffenheit ihrer Zellmembranen zurückzuführen sein.

Gegenüber Spannungen von 110 Volt und mehr spielen die vom Körper erzeugten polarisatorischen Gegenkräfte keine wesentliche Rolle mehr, da wahrscheinlich die entstehende elektromotorische Kraft nur ein gewisses Maximum erreichen kann und durch derartige Spannungen die Zellmembranen sofort weitgehende Schädigungen erleiden. Der Gleichstromwiderstand des Körpers entspricht daher erst bei diesen Spannungen dem wahren Ohmwiderstand, obwohl auch hier, wie ich schon S. 8

[1] Siehe z. B.: R. Höber, *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe.* Vierte Auflage. Leipzig und Berlin 1914.

angegeben habe, sofort sekundäre Widerstandsveränderungen, die aber auf andere Ursachen zurückgeführt werden müssen, eintreten dürften; bei niederer Gleichstromspannung dagegen ist infolge der Polarisation der Widerstand scheinbar ein bedeutend höherer.

Zum vollen Beweis dieser theoretischen Anschauung ist aber noch die experimentelle Bestätigung erforderlich, daß tatsächlich elektromotorische Gegenkräfte durch den Gleichstrom erzeugt wurden. Von früheren Forschern ist bereits nach Anlegung von 30 Volt eine Gegenspannung von $^1/_2$ Volt festgestellt worden; es ist dies aber eine Zahl, die in keiner Weise dem auf Grund theoretischer Erwägungen zu fordernden Wert eines Polarisationsmaximums entspricht. Allerdings begegnet der experimentelle Nachweis einer entsprechenden elektromotorischen Gegenkraft infolge der sofortigen Depolarisation nach Ausschaltung des Primärstromes großen Schwierigkeiten; immerhin ist es Gildemeister gemeinsam mit E. David gelungen, 90 Prozent der theoretisch zu fordernden Werte nachzuweisen.

Daß der Wechselstromwiderstand bei nicht zu hohen Spannungen keine zeitliche Änderung erfährt, entspricht vollkommen der Polarisationstheorie. Es fragte sich aber, ob auch die beim Durchgang durch den Körper erfolgende Phasenverschiebung des Wechselstromes tatsächlich auf Polarisation beruht, da sie zunächst ebensogut auf elektrostatische Kapazität des Körpers zurückgeführt werden konnte. Aus dieser Frage sich ergebende theoretische Überlegungen erlauben eine experimentelle Lösung derselben. Diesbezügliche Untersuchungen von Gildemeister[1] haben Resultate ergeben, die durchaus den bei Vergleich des Körpers mit einer Polarisationszelle zu fordernden Ergebnissen entsprechen, so daß die Phasenverschiebung des Wechselstromes als Folge der Polarisationskapazität des Körpers anzusehen ist. Auf Grund der hieraus sich ergebenden theoretischen Folgerungen ist auch die praktisch bestätigte Tatsache verständlich, daß der Wechselstromwiderstand von der jedesmaligen Wechselfrequenz abhängig ist, d. h. mit Zunahme derselben geringer wird, so daß erst der bei Anwendung von hochfrequenten Wechselströmen erzielte Widerstandswert dem wahren Ohmwiderstand des Körpers entspricht.

Es findet also durch die Polarisationstheorie das Verhalten des Leitungswiderstandes des Körpers sowohl für Wechsel- wie Gleichstrom ausreichend Erklärung; die aus dieser Anschauung zu ziehenden Folgerungen lassen sich experimentell bestätigen, so daß also auch der Schlußstein für die Gültigkeit der Polarisationstheorie gebildet ist.

[1] M. Gildemeister, Pflügers *Archiv.* 1919, Bd. CLXXVI. S. 84.

VIII. Zusammenfassung.

In dieser Arbeit ist der elektrische Leitungswiderstand frischer Leichen mit Gleichstrom verschiedener Spannung und mit Wechselstrom gemessen worden.

Der Gleichstromwiderstand ist für mittlere Spannungen (110 und 220 Volt) bedeutend geringer als für niedere Spannungen (bis zu 16·4 Volt), aber, wahrscheinlich infolge sekundärer Widerstandsveränderungen, noch so groß, daß die erzielte Stromstärke von Hand zu Hand, von Hand zu Fuß und von Fuß zu Fuß unter den günstigsten Umständen (Elektrodengröße etwa gleich $^3/_4$ der Hand- bzw. Fußfläche) kaum $^1/_4$ Ampere erreicht. Dieselbe ist abhängig von der Größe und Beschaffenheit der Elektroden sowie dem Zustand der Haut. Für den lebenden Körper gelten die gleichen Verhältnisse; da eine Gleichstromspannung von 220 Volt schon zu tödlichen Unglücksfällen Veranlassung gegeben hat, folgt daraus, daß unter Umständen bereits ein Gleichstrom von weniger als $^1/_2$ Ampere tödlich wirken kann.

Im Einklang mit Tatsachen, die vom lebenden menschlichen Körper schon längst bekannt sind, unterscheidet sich der Widerstand für Gleichstrom niederer Spannung wesentlich vom Wechselstromwiderstand.

Ersterer ist anscheinend sehr groß, nimmt aber mit zunehmender Spannung wie längerer Durchströmungsdauer ab. Bei wiederholten Stromwendungen steigt er bei einsteigendem Strom an, bei aussteigendem sinkt er ab.

Letzterer ist bedeutend kleiner und relativ konstant; er ist nur bei Anwendung von reinen Sinusströmen und Kompensation der Phasenverschiebung, die der Wechselstrom auch in der frischen Leiche erleidet, durch Einschaltung einer passenden Selbstinduktion genau zu ermitteln.

Um festzustellen, ob die Schwankungen des Gleichstromwiderstandes durch tatsächliche Änderungen des Körperwiderstandes hervorgerufen werden, habe ich gleichzeitige Gleich- und Wechselstrommessungen vorgenommen. Dabei zeigte sich, daß der Gleichstromwiderstand das übliche Verhalten aufwies, der Wechselstromwiderstand nur ganz geringfügige Änderungen erlitt, die zumeist in entgegengesetztem Sinne wie die des Gleichstromwiderstandes verliefen. Es fand sich ferner, daß die Wechselstromschwankungen auf Veränderungen nicht des Widerstandes, sondern der die Phasenverschiebung bedingenden Polarisation beruhen. Das Verhalten der Polarisationskapazität ließ sich nicht eindeutig feststellen; dieselbe wurde durch einsteigenden Strom das eine Mal vergrößert, das andere Mal verkleinert, durch aussteigenden Strom jedesmal in umgekehrtem Sinn verändert.

Die Ergebnisse dieser Versuche stimmen nicht überein mit den Folgerungen, die aus der zur Erklärung der Veränderlichkeit des Leitungswiderstandes für Gleichstrom herangezogenen elektroendosmotischen Theorie zu ziehen sind; diese ist daher abzulehnen. Sämtliche gemachten Beobachtungen, sowohl in bezug auf das Verhalten des Gleich- wie auch des Wechselstromwiderstandes, stehen dagegen in Einklang mit der Polarisationstheorie und den sich aus dieser ergebenden Überlegungen.

Aus dieser Anschauung folgt, daß weder der bei Messung mit Gleichstrom noch mit Wechselstrom niederer Frequenz erzielte Widerstandswert dem wahren Ohmwiderstand des lebenden oder toten menschlichen Körpers entspricht; dieser ist nur zu finden bei Messung mit hochfrequenten Wechselströmen.

Zum Schlusse erlaube ich mir, Herrn Professor Gildemeister für die Anregung zu dieser Arbeit und für die ständige Unterstützung bei ihrer Ausführung meinen besten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 8. Oktober 1892 als Sohn des jetzigen Oberstabsarztes Dr. Otto Kaufhold zu Fritzlar (Reg.-Bez. Cassel) geboren, evangelischer Konfession, besuchte ich das protestantische Gymnasium zu Straßburg i. E. und widmete mich nach abgelegtem Abiturientenexamen dem Studium der Medizin an der Universität Straßburg. Hier bestand ich am Ende des 5. Studiensemesters (Anfang März 1913) die ärztliche Vorprüfung. Nach fünf weiteren Semestern legte ich ein reguläres Staatsexamen ab (Dezember 1915) und erhielt nach Ablauf des praktischen Jahres die Approbation als Arzt.

Vom 1. Oktober 1915 bis 31. März 1916 als Assistent am pathologischen Institut der Universität Straßburg tätig, wurde ich Ende März 1916 als Unterarzt dem Seuchenlazarett der Festung Straßburg zugeteilt und blieb hier bis zu meiner Entlassung aus dem Heeresdienst (Mitte November 1918).

Vom 15. November 1918 ab war ich wieder als Assistent am Pathologischen Institut in Straßburg tätig, bis ich infolge der politischen Ereignisse meine dortige Stellung verloren habe.

Zurzeit bin ich (seit 1. Mai 1919) auf der inneren Station des Reserve-Garnisonlazaretts I, Berlin, beschäftigt.